

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

SEP 22 2000

9 9 9 年 6 月 3 0 日

出 願 番 号

Application Number:

平成 1 1 年 特 許 願 第 1 8 6 9 5 4 号

出 願 人

Applicant (s):

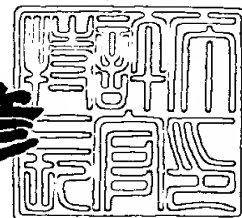
ホーヤ株式会社

RECEIVED
SEP 27 2000
TC 2300 MAIL ROOM

2 0 0 0 年 6 月 2 9 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

近 藤 隆 彦



出 証 番 号 出 証 特 2 0 0 0 - 3 0 5 3 3 1 3

【書類名】 特許願
 【整理番号】 P99HYE028
 【あて先】 特許庁長官殿
 【国際特許分類】 H01L 21/027
 【発明者】

【住所又は居所】 東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号 ホーヤ株式会社内

【氏名】 雨宮 勲

【特許出願人】

【識別番号】 000113263

【住所又は居所】 東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号

【氏名又は名称】 ホーヤ株式会社

【代表者】 山中 衛

【代理人】

【識別番号】 100103676

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤村 康夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 056018

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9500007

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電子線描画用マスクブランクス、電子線描画用マスクおよび電子線描画用マスクの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電子線を透過する電子線透過層と、
前記電子線透過層上に形成された電子線散乱層と、
前記電子線透過層と前記電子線散乱層とを支持する支持体とを有する電子線描画用マスクブランクスにおいて、

前記電子線透過層の膜厚が $0.005\mu\text{m}$ 以上 $0.2\mu\text{m}$ 未満であり、かつ、
前記電子線散乱層の膜厚が $0.2\sim 2\mu\text{m}$ であって、これらの膜厚関係を充足する材料からなることを特徴とする電子線描画用マスクブランクス。

【請求項 2】 前記電子線透過層は下記式 (I) を満足する請求項 1 に記載の電子描画用マスクブランクス。

$$Tt < 2\alpha \quad \cdots (I)$$

(式 (I) 中、 Tt : 電子線透過層の膜厚、 α : 電子線透過層における電子の平均自由行程を表す)

【請求項 3】 前記電子線散乱層は下記式 (II) を満足する請求項 1 または 2 に記載の電子描画用マスクブランクス。

$$2\beta \leq Ts \leq 10\beta \quad \cdots (II)$$

(式 (II) 中、 Ts : 電子線散乱層の膜厚、 β : 電子線散乱層における電子の平均自由行程を表す)

【請求項 4】 前記電子線透過層および電子線散乱層の膜材料密度が、 $1.0\sim 5.0\text{g}/\text{cm}^3$ である請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の電子線描画用マスクブランクス。

【請求項 5】 前記電子線透過層および／または前記電子線散乱層の弾性率が、 $0.8 \times 10^{11}\text{Pa}$ 以上である請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の電子線描画用マスクブランクス。

【請求項 6】 前記電子線透過層および／または前記電子線散乱層の膜厚のバラツキが 1 個のショットエリア内で 30% 以下である請求項 1 ないし 5 のい

れかに記載の電子線描画用マスクブランクス。

【請求項 7】 前記電子線散乱層と前記電子線透過層との間、あるいは前記電子線透過層と前記支持体との間にエッチングストッパー層を介在させる請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の電子線描画用マスクブランクス。

【請求項 8】 前記エッチングストッパー層の膜厚が、 $0.005 \sim 0.2 \mu\text{m}$ である請求項 7 に記載の電子線描画用マスクブランクス。

【請求項 9】 前記エッチングストッパー層の膜材料密度が、 $1.0 \sim 5.0 \text{ g/cm}^3$ である請求項 7 または 8 に記載の電子線描画用マスクブランクス。

【請求項 10】 請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載のマスクブランクスを用いて作製されたことを特徴とする電子線描画用マスク。

【請求項 11】 電子線を透過する電子線透過膜と、
前記電子線透過膜上に形成された電子線散乱体パターンと、
前記電子線透過膜および前記電子線散乱体パターンを支持する支持体とを有する電子線描画用マスクにおいて、

前記電子線透過膜の膜厚が $0.005 \mu\text{m}$ 以上 $0.2 \mu\text{m}$ 未満であり、前記電子線透過膜の膜材料密度が $1.0 \sim 5.0 \text{ g/cm}^3$ であり、前記電子線透過膜の弾性率が $0.8 \times 10^{11} \text{ Pa}$ 以上であって、かつ、

前記電子線散乱体パターンの膜厚が $0.2 \sim 2 \mu\text{m}$ であり、前記電子線散乱体パターンの膜材料密度が $1.0 \sim 5.0 \text{ g/cm}^3$ であり、前記電子線散乱体パターンの弾性率が $0.8 \times 10^{11} \text{ Pa}$ 以上であることを特徴とする電子線描画用マスク。

【請求項 12】 電子線を透過する電子線透過膜と、
前記電子線透過膜上に形成された電子線散乱体パターンと、
前記電子線透過膜および前記電子線散乱体パターンを支持する支持体とを有する電子線描画用マスクにおいて、

前記支持体、前記電子線透過膜、及び電子線散乱体パターンのうちの少なくとも一方が、主として炭素元素から構成される材料からなることを特徴とする電子線描画用マスク。

【請求項 13】 前記電子線描画用マスクは、露光電子線の加速電圧が 30

k e V以上で使用されるものである請求項10ないし12のいずれかに記載の電子線描画用マスク。

【請求項14】 請求項10ないし12のいずれかに記載の電子線描画用マスクの表面側又は裏面側に、圧縮応力膜又は引張応力膜を形成する工程を有することを特徴とする電子線描画用マスクの製造方法。

【請求項15】 S I M O Xウエハまたは貼合せウエハに裏面側よりウインド加工を施し、続いてウエハ中のストッパー層（中間層）を選択的に除去した後、裏面側より薄膜形成法により一面に電子線透過膜を形成する工程を有することを特徴とする電子線描画用マスクの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は荷電粒子線、特に電子線を用いた半導体デバイス等の製造のためのリソグラフィ技術に用いる転写マスク（レチクル）、マスクブランク（マスク作製用基板）の構造、製法等に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

配線パターン等を形成するためのリソグラフィ技術において、形成パターンが非常に微細化するに伴い、従来からの汎用技術である光リソグラフィ技術ではパターン形成が困難になり、更なる微細化に向け電子線、イオンビームなどの荷電粒子線やX線源等の短波長ビームを用いた露光技術が積極的に検討されている。

中でも電子線描画技術は初期の点ビーム描画から、矩形ビームのサイズや形状を変化させて描画を行う可変成形描画法、続いて、パターン精度の向上や描画時間の短縮などの観点から、マスクを介してパターンの一部を部分的に一括して描画しこれを繰り返す部分一括描画法が提案され、発展が図られてきた。そして、部分一括描画法に引き続き、8年程前にS. D. B e r g e rらによって新しい電子投射システム（S C A L P E Lシステム）が提案された。その後、同様の描画システム（P R E V A I Lシステム）やこれらの描画システムに適用するため

の転写マスク（レチクル）構造およびその作製方法に関する提案が種々なされてきた。

【0003】

例えば、特許第2829942号（特開平7-201726号）は、H. C. Pfeifferらによって発明されたPREVAILシステムに関するものであり、概略的には各小領域に所定のサイズ、配置にて形成された貫通孔（アパーチャ）パターンを形成したステンシルマスクを用意し、前記小領域に荷電粒子線を照射し、貫通孔パターンによって成形されたビームを光学系にて感光材を形成した被露光基板上に貫通孔パターンを縮小転写するものであり、マスク上に分割形成された所定パターンを被露光基板上にて繋ぎ合わせながらデバイスパターンを形成するものである。このシステムのために提案されている転写マスクは、パターン部が全く遮蔽されない貫通孔からなるステンシルタイプのマスクを主構造としている（特開平10-261584、特開平10-260523等）。ステンシルタイプのマスクでは、パターン領域を裏面側からストラット（strut）（棧）構造で分割、補強することによりパターン領域の撓みの低減が図られ、これによってパターン位置精度の向上等が図られている。

【0004】

またSCALPELシステムのためのマスク構造は主としてステンシルマスクよりも散乱マスク（レチクル）が提案されている。これらについては、例えば文献（S. D. Berger & J. M. Gibson著、APPL. PHYS. LETTERS 57（2）（1990）153）や、特開平10-261584号公報、特開平10-321495号公報等に具体的に記載されている。これら記載によれば、マスク構造はSiN等のメンブレン（自立した薄膜）上に重金属層を形成し、この重金属層に所望のパターン形成を施したものであり、電子ビームは双方の層に照射されるが、電子線散乱体の有無により電子散乱度が異なり、この散乱度の違いを利用してウエハ上でのビームコントラストを得て、パターンの縮小転写を行う方法である。

【0005】

これらの露光システムは荷電粒子線の特徴である高解像性を満足し、 0.1μ

mより微細なパターン形成を可能としており、部分一括法と比較した場合、ショットサイズ的大幅な拡大（例えば、被露光基板上の最大ショットサイズが $5\mu\text{m}$ から $250\mu\text{m}$ へ拡大）等によりデバイスの製造におけるスループット向上が図られ（例えば、最小線幅 $0.08\mu\text{m}$ 、8インチ基板で、30枚/時以上のスループット）、汎用デバイス生産対応も可能な装置能力を有しており、実用性の高いシステムである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

上記のように新たな露光システムの提案、そのシステムに適用するための転写マスク（レチクル）構造に関する提案やマスクの作製方法に関する提案が種々公表されているが、提案されている各種マスク構造では実用性の観点から諸問題を抱えている状況である。以下それらの諸問題について概説する。

【0007】

これまで提案されているマスク構造は大別して2種類であり、パターンが貫通孔構造であるステンシルマスクと、 $100\sim 200\text{nm}$ 厚の薄膜透過層の上に重金属からなる電子線散乱体を形成した散乱マスクである。その他に反射タイプのマスクの提案もあるが説明は省く。これらの代表的な構造図を図13、図14に示す。

【0008】

図13に示すように、ステンシルマスクの転写パターン部分は貫通孔1であるため描画電子のエネルギー損失がほとんど無い反面、高加速電圧のビーム照射によって貫通孔1が形成されているアパーチャ体2（貫通パターンを形成する薄膜部）に生じる熱に対する熱的耐性の問題や、貫通孔構造であるためマスク強度に関する問題がある。この対策として、パターン領域（薄膜部）を極力薄く（例えば $2\mu\text{m}$ 厚）し、マスク裏面よりパターン領域（パターンフィールド）を支持するためのストラット（棧）（図示せず）等を形成することにより熱負荷の低減とマスク構造の強化を図る技術が知られている。

しかしながら、貫通孔構造の場合、リング型（ドーナッツ型）パターン等は完全に独立した形では形成することができない。この場合の対処法として、H. B

ohlenらがSolid State Technology, Sept (1984) 210頁で記述しているように所望の構成素子パターンを組み立てるための相補形マスクを作製し、相補形パターンの重ね合わせによりパターンを形成する方法が提案されている。しかし、この方法では最低2倍の枚数のマスクを必要とする上、露光のショット数が多くなり露光時間の大幅な増加を招いてしまい、露光システムの有する処理能力を低減させてしまう。また、デバイスパターン毎の適切なパターン分割が必要となるデメリットもある。

【0009】

また、ビーム照射による熱負荷低減のためにパターン領域（薄膜部）の薄膜化を行うと新たな課題が生じる。

ステンシルマスクの転写パターン部分は貫通孔である。このときに形成するパターンが図5（黒色部が貫通孔1）に示すようにコンタクトホール（図5（a））や短寸法ラインパターン（図5（b））のみであれば特別な問題は生じないが、素子パターンデザインの都合上、図6（a）や（b）（黒色部がそれぞれ貫通孔1）に示すようにパターン支え部4が片持ち形状のパターン（以下、リーフパターンと称す）である場合が少なからず生じる。このような場合、リーフパターンでは諸条件により縦方向（マスク面に垂直な方向）に撓み変位を生じてしまう。この場合、アパーチャ体材料のヤング率が非常に大きければ、撓み変位の低減も可能となるが、現在知られている最も弾性係数の大きな多結晶ダイヤモンド膜を仮にアパーチャ体に適応しても、パターン支え部分の断面積が縮小化する限り、撓み変位を実用レベルにすることは困難である。

加えて、SCALPELやPREVEILタイプの装置では、露光システム上マスクは高速で常時動作するため、微視的な観点から判断すると、アパーチャパターン（リーフパターンを含む）にも横方向に非常に大きな力が作用してしまう。即ち縦方向のみでなく、横方向（マスク面に平行な方向）に対するマスク剛性の観点も重要になる。しかしながら、リーフパターン部には、マスクステージの高速移動により曲げ応力やねじり応力等が作用し、リーフパターン支持部では応力集中が生じるため、パターン破損が容易に生じることが予測される。

【0010】

一方、SCALPELマスク（電子線散乱マスク）においては、マスク構造による電子線透過部（パターン支持部、又はメンブレン部と称す）での電子線散乱による透過電子量の損失とマスク耐久性の問題が生じる。

上記電子線散乱マスクの断面構造図（図14）を基に説明する。電子線散乱マスクは、電子線散乱体5の有無による電子散乱度の差と制限アパーチャによりコントラストを確保するが、重金属からなる電子線散乱体5のみでは膜自立することが難しいため、重金属散乱層の支持を目的にパターン支持部6を形成する必要がある。

【0011】

この構造のマスクでは、電子線散乱層を支持するためのパターン支持部の厚さと電子透過性の相反する課題が生じる。即ち、公知のパターン支持部材料はSiN系やSi材であり、その他ダイヤモンド膜等も提案されている。これらのパターン支持部材料に要求される特性としては、材料密度が低く、ヤング率等の材料力学特性に優れることが好ましい。言い換えれば、パターン支持部での電子透過性に優れ、材料の弾性率等が大きい程好ましいと言える。電子透過性の観点のみであれば、荷電粒子ビームの高加速電圧化やパターン支持部の薄膜化により対応は可能であり、SCALPEL等で使用される電子源の加速電圧は100KeV以上と高加速電圧であるため、例えば米国特許第5260151号に記載されているパターン支持部の厚さ（50～200nm）では電子はほぼ100%透過する。但し、如何なる物質中でも電子は散乱される。散乱電子はパターン支持部を通過するが、パターン支持部からの電子出射角が所定の範囲をもつため、所定範囲外の出射角を有する電子は露光装置内の被露光基板の上部に設けられた制限アパーチャを通過できないために、露光するための電子（露光電子と称す）の割合の減少を招いてしまう。所定範囲外の電子数を低減する、言い換えれば散乱されずに透過する電子数を増加させるためには、支持体であるパターン支持部を薄くする他はない。

しかし重金属散乱体の場合、例えば散乱体がタングステンの場合、数回の電子散乱を確保するためには50nm程度の膜厚さがあれば良いが、50nm厚の散乱体を支持するためには、例えば窒化シリコン（SiN系）系のパターン支持部

を適用すると、材料力学特性の観点より膜厚設定した場合、約100～150nm厚のSiN膜を必要とする。この膜厚のパターン支持部を使用すると、100KeVの加速電圧下での露光電子はパターン支持部での電子散乱により約40～50%に低減してしまう。仮にSiNパターン支持部厚さを薄くしようとする、タングステン散乱体の自重によりパターン支持部に撓みを生じさせてしまう。

【0012】

以上のように、重金属からなる電子線散乱層が薄過ぎると、良好なビームコントラストが得られない。一方、良好なビームコントラストを得るために重金属電子線散乱層を厚くすると自重で撓んでしまう。また、その重金属電子線散乱層を支えるためには電子線透過層の膜厚をかなり厚くしなければならず、露光電子の損失が大きくなるという問題があった。そして、SCALPEL用マスクでは、各々の層の薄膜化と応力の確保との要求が相反し、実用的なマスクを従来は得ることができなかった。

【0013】

さらにステンスルマスクと同様にマスク使用時にマスクステージを高速動作した場合、電子線散乱体を含めたパターン領域（薄膜部分）が非常に壊れ易いことが予測される。

加えて、電子線散乱体が重金属からなる散乱マスクをPREVAILのようなステッパー形式の装置に適用しようとした場合、露光電子の減少の他に、収差も問題である。即ち、パターン支持部での非弾性散乱により、ビームエネルギーのバラツキにより色収差を生じ解像性劣化を招いてしまう。この解像性低下の対策法としては結論的にはビーム電流値を極端に下げざるを得ないため、露光時間の大幅な延長を招き、実用的でない。

【0014】

本発明は、上述した背景の下になされたものであり、電子ビーム（EB）露光に用いられる電子線描画用マスクおよび電子線描画用マスクブランク等マスク技術に関するものであって、ビームコントラスト、電子の散乱角の制御、露光電子の損失、色収差の低減、露光時間の短縮などの問題に対処できる電子線描画用マスクやそのマスクブランクスの提供を目的とする。

また、マスク構造の最適化およびマスク作製方法の確立を図り、リソグラフィ特性を向上させ超高集積回路の製造を可能とすることを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】

上記種々課題を解決するため、本発明は、以下の構成としてある。

(構成1) 電子線を透過する電子線透過層と、前記電子線透過層上に形成された電子線散乱層と、前記電子線透過層と前記電子線散乱層とを支持する支持体とを有する電子線描画用マスクブランクスにおいて、前記電子線透過層の膜厚が0.005 μm 以上0.2 μm 未満であり、かつ、前記電子線散乱層の膜厚が0.2 \sim 2 μm であって、これらの膜厚関係を充足する材料からなることを特徴とする電子線描画用マスクブランクス。

【0016】

(構成2) 前記電子線透過層は下記式(I)を満足する構成1に記載の電子描画用マスクブランクス。

$$T_t < 2\alpha \quad \cdots (I)$$

(式(I)中、 T_t : 電子線透過層の膜厚、 α : 電子線透過層における電子の平均自由行程を表す)

【0017】

(構成3) 前記電子線散乱層は下記式(II)を満足する構成1または2に記載の電子描画用マスクブランクス。

$$2\beta \leq T_s \leq 10\beta \quad \cdots (II)$$

(式(II)中、 T_s : 電子線散乱層の膜厚、 β : 電子線散乱層における電子の平均自由行程を表す)

【0018】

(構成4) 前記電子線透過層および電子線散乱層の膜材料密度が、1.0 \sim 5.0 g/cm^3 である構成1ないし3のいずれかに記載の電子線描画用マスクブランクス。

【0019】

(構成5) 前記電子線透過層および/または前記電子線散乱層の弾性率が、0.

$8 \times 10^{11} \text{ Pa}$ 以上である構成 1 ないし 4 のいずれかに記載の電子線描画用マスクブランクス。

【0020】

(構成 6) 前記電子線透過層および／または前記電子線散乱層の膜厚のバラツキが 1 個のショットエリア内で 30% 以下である構成 1 ないし 5 のいずれかに記載の電子線描画用マスクブランクス。

【0021】

(構成 7) 前記電子線散乱層と前記電子線透過層との間、あるいは前記電子線透過層と前記支持体との間にエッチングストッパー層を介在させる構成 1 ないし 6 のいずれかに記載の電子線描画用マスクブランクス。

【0022】

(構成 8) 前記エッチングストッパー層の膜厚が、 $0.005 \sim 0.2 \mu\text{m}$ である構成 7 に記載の電子線描画用マスクブランクス。

【0023】

(構成 9) 前記エッチングストッパー層の膜材料密度が、 $1.0 \sim 5.0 \text{ g/cm}^3$ である構成 7 または 8 に記載の電子線描画用マスクブランクス。

【0024】

(構成 10) 構成 1 ないし 9 のいずれかに記載のマスクブランクスを用いて作製されたことを特徴とする電子線描画用マスク。

【0025】

(構成 11) 電子線を透過する電子線透過膜と、前記電子線透過膜上に形成された電子線散乱体パターンと、前記電子線透過膜および前記電子線散乱体パターンを支持する支持体とを有する電子線描画用マスクにおいて、前記電子線透過膜の膜厚が $0.005 \mu\text{m}$ 以上 $0.2 \mu\text{m}$ 未満であり、前記電子線透過膜の膜材料密度が $1.0 \sim 5.0 \text{ g/cm}^3$ であり、前記電子線透過膜の弾性率が $0.8 \times 10^{11} \text{ Pa}$ 以上であって、かつ、前記電子線散乱体パターンの膜厚が $0.2 \sim 2 \mu\text{m}$ であり、前記電子線散乱体パターンの膜材料密度が $1.0 \sim 5.0 \text{ g/cm}^3$ であり、前記電子線散乱体パターンの弾性率が $0.8 \times 10^{11} \text{ Pa}$ 以上であることを特徴とする電子線描画用マスク。

【0026】

(構成12) 電子線を透過する電子線透過膜と、前記電子線透過膜上に形成された電子線散乱体パターンと、前記電子線透過膜および前記電子線散乱体パターンを支持する支持体とを有する電子線描画用マスクにおいて、前記支持体、前記電子線透過膜、及び電子線散乱体パターンのうちの少なくとも一方が、主として炭素元素から構成される材料からなることを特徴とする電子線描画用マスク。

【0027】

(構成13) 前記電子線描画用マスクは、露光電子線の加速電圧が30keV以上で使用されるものである構成10ないし12のいずれかに記載の電子線描画用マスク。

【0028】

(構成14) 構成10ないし12のいずれかに記載の電子線描画用マスクの表面側又は裏面側に、圧縮応力膜又は引張応力膜を形成する工程を有することを特徴とする電子線描画用マスクの製造方法。

【0029】

(構成15) SIMOXウエハまたは貼合せウエハに裏面側よりウインド加工を施し、続いてウエハ中のストッパー層(中間層)を選択的に除去した後、裏面側より薄膜形成法により一面に電子線透過膜を形成する工程を有することを特徴とする電子線描画用マスクの製造方法。

【0030】

【作用】

上記構成1においては、所定の膜厚関係を充足する材料からなるという要件から、電子線散乱層が重金属からなる場合は除かれる。これは、電子線散乱層が重金属からなる場合は、上記膜厚関係を充足する材料からなるマスクを実現できないからである。したがって、従来のSCALPELマスクのように、W、Mo等の金属製電子線散乱層を電子線透過層で支える構成のマスクは除かれる。

電子線透過層の厚さが0.005 μ m未満である場合、この上に形成される電子線散乱層を十分に支持できなくなり膜安定性が十分に得られない。また、電子線散乱層のエッチング時に生じるパターン近くの応力分布の変化によりパターン

位置変位を招く恐れがある。一方、電子線透過層の厚さが $0.2\mu\text{m}$ を超える場合、露光電子損失が大きくなり露光効率を低下させてしまう。電子線透過層の厚さは $0.005\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ が好ましく、 $0.01\mu\text{m}\sim 0.05\mu\text{m}$ がさらに好ましい。

電子線散乱層の厚さが $0.2\mu\text{m}$ 未満である場合、電子線散乱層内における電子の散乱回数が十分ではなくビームコントラストを良好に得ることができない。また、リーフパターン等の場合、十分な膜自立性を得ることができない。一方、電子線散乱層の厚さが $2\mu\text{m}$ を超えると、電子線散乱層内での電子の散乱回数が多くなり過ぎて電子の散乱角の制御が困難になる恐れがある。電子の散乱角の制御が困難になると、特に、近接効果の補正を行うべくGHOST法等の補助露光手段を採用する際、電子散乱角度分布が大き過ぎ、良好な補助露光を行うことが困難になる。また、電子線散乱層に対し、例えば異方性ドライエッチングによって微細パターンの形成を行うのであるが、電子線散乱層に対するエッチング深さが深くなる程、電子線散乱層の加工精度が損なわれる傾向があるため好ましくない。電子線散乱層の厚さのより好ましい範囲は $0.3\sim 1.5\mu\text{m}$ である。

電子線透過層及び電子線散乱層の両方の膜厚が上記範囲内にあるとき、マスクとした際の膜安定性が保たれる。また、電子の透過と散乱とが制御され露光時のスループット向上を図ることができる。

【0031】

上記構成2によれば、電子線透過層が関係式(I)を満足することにより、電子の散乱を抑え、露光電子損失を低減させ、露光効率の向上を図ることができる。

より好ましくは $Tt < \alpha$ である。

【0032】

上記構成3において、膜厚が 2β より小さい場合、即ち、電子の散乱が少なくとも2回以上可能な膜厚を電子線散乱層が有しない場合、ウエハ上でのビームコントラストを良好に得ることができない。

一方、 10β を超えると、電子線散乱層内での電子の散乱回数が多くなり過ぎて電子の散乱角の制御が困難になる恐れがある。散乱角の制御が困難になると、

特に、近接効果補正を行うべくGHOST法等の補助露光手段を採用する際、電子散乱角度分布が大き過ぎて、良好な補助露光を行うことが困難になる。また、電子線散乱層に対し、例えば異方性ドライエッチングによって微細パターンを形成するのであるが、エッチング深さが深くなる程、加工精度が損なわれる傾向があるため電子線散乱層を 10β を超えて厚くすることは好ましくない。

【0033】

上記構成4において、「膜材料密度」とは、電子線透過層あるいは電子線散乱層を構成する材料そのものの密度を意味する。

電子線透過層の場合、電子線透過層を電子が散乱することなく透過する確率は、次式で表される。

$$e^{-(Tt/\alpha)}$$

式中、 Tt は電子線透過層の膜厚、 α は電子線透過層における電子の平均自由行程をそれぞれ表す。また、 (Tt/α) は電子が1回散乱するための膜厚を表す。

膜材料密度が大きくなればなる程、平均自由行程 α は小さくなる。よって、所望の露光電子量を得るためには電子線透過層を電子が散乱することなく透過する確率 $e^{-(Tt/\alpha)}$ となるための電子線透過層の膜厚を小さくする必要がある。

但し、構成1に規定した膜厚の範囲内($0.005\mu\text{m}\sim 0.2\mu\text{m}$)とする必要があるため、電子線透過層の膜材料密度の上限は $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、下限は $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ ということになる。

電子線散乱層の場合は、90%以上のビームコントラストを得るためには数回以上の散乱回数が必要となるが、この場合材料密度により1回散乱するための膜厚は変化し、材料密度が大きくなる程膜厚は小さくできる。逆に、材料密度が小さくなる程膜厚は大きくなる。そして、上記と同様に、構成1に規定した膜厚の範囲内($0.2\sim 2\mu\text{m}$)とする必要があるため、電子線散乱層の膜材料密度の上限は $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、下限は $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ ということになる。

電子線透過層と電子線散乱層の双方の膜材料密度が上記の範囲であることにより、それぞれの膜が膜自立性をもつようになる。したがって、従来のSCALPELマスクのように、W、Mo等の金属製電子線散乱層を電子線透過層で支える

構成とは異なり、本発明の場合、各層自体および層間でたわみ（撓み）を生じる恐れがない。

また、電子線散乱層をエッチングしてパターンを形成しても、たわみ変化量が小さいことによりパターン位置変化を招く恐れはほとんどない。

【0034】

上記構成5において、電子線透過層および電子線散乱層の弾性率がそれぞれ 0.8×10^{11} Pa未満であると、各々の膜の自立性が保持できず安定したマスクを得られない場合がある。

電子線透過層および電子線散乱層の双方の弾性率が 0.8×10^{11} Pa以上であることが、マスク安定性の観点から好ましく、 1.0×10^{11} Pa以上であることがさらに好ましい。

【0035】

上記構成6において、電子線透過層の1ショットエリア内での膜厚のバラツキが設定膜厚に対して30%を超えていると露光電子量のバラツキが大きくなり、露光特性の低下を招く恐れがある。電子線透過層の膜厚のバラツキは±10%以下であることがより好ましい。

電子線散乱層の膜厚のバラツキが30%を超えていると、電子の散乱角の制御が困難となり補助露光が効果的に行うことができない場合がある。また、エッチング時に影響を生じる恐れがある。電子線散乱層の膜厚のバラツキは±10%以下であることがより好ましい。

【0036】

上記構成7においては、電子線散乱層をエッチングしてパターンを形成する際、電子線散乱層と電子線透過層との間にエッチングストッパー層を介在させることにより、電子線透過層がエッチングされるのを回避し、加工時のマージンを高めることができる。また、パターン形成後、パターン領域の膜応力バランスの調整を図りより安定なマスクを得ることも可能である。なお、パターン形成後、このエッチングストッパー層は除去しても除去しなくてもよい。

また、支持体を裏面側からエッチングする際、電子線透過層と支持体との間にエッチングストッパー層を介在させることにより、裏面側から電子線透過層がエ

ツチングされるのを回避し、加工時のマージンを高めることができる。また、パターン形成後、パターン領域の膜応力バランスの調整を図りより安定なマスクを得ることも可能である。

なお、上記2種類のエッチングストッパー層は、同じ材料であっても異なる材料としてもよい。

【0037】

上記構成8において、エッチングストッパー層の膜厚が $0.005\mu\text{m}$ 未満であると十分なエッチングストッパー効果を期待できない。また、 $0.2\mu\text{m}$ を超えるとエッチングストッパー層自身の膜応力の作用によりパターン領域の撓みを招く恐れがある。

【0038】

上記構成9において、エッチングストッパー層の膜材料密度の限定の理由は、上記構成4において電子線透過層の膜材料密度を限定した理由と同様である。

【0039】

上記構成10によれば、上記本発明のマスクブランクスを用いてマスク作製することで、構造特性、製法特性、リソグラフィー要求特性に優れた電子線描画用マスクが得られる。

【0040】

上記構成11によれば、電子線透過層および電子線散乱層の膜厚、膜材料密度弾性率を規定することで、構造特性、製法特性、リソグラフィー要求特性に優れた電子線描画用マスクが得られる。

【0041】

上記構成12によれば、支持体、電子線透過膜、及び電子線散乱体パターン層のうちの少なくとも一つが、主として炭素元素から構成される材料からなることによって、構造特性、製法特性、リソグラフィー要求特性に特に優れた電子線描画用マスクが得られる。

【0042】

上記構成13では、電子線描画用マスクにおける、露光電子線の加速電圧に関する仕様を規定している。加速電圧の仕様が異なればマスクの要求特性も当然異

なってくる。このような仕様を満たすマスクは、例えばSCALPELシステム等での高加速電圧下で使用できる。

【0043】

上記構成14によれば、構成10ないし12のいずれかに記載の電子線描画用マスクの表面側又は裏面側に、圧縮応力膜又は引張応力膜を形成する工程を有することによって、マスク作製後にパターン領域の反りをなくし平坦化できる。

【0044】

上記構成15によれば、SIMOXウエハに裏面側よりウインド加工を施し、続いてSIMOXウエハ中のストッパー SiO_2 層を選択的に除去した後、裏面側より薄膜形成法により電子線透過膜を形成する工程を有することによって、電子線透過膜の厚さを自由に調整できる。また、ドライエッチング性に優れるSi単結晶層を電子散乱体に用いることができる等の利点がある。

【発明の実施の形態】

【0045】

本発明は、電子線散乱層および電子線透過層の材料、密度、弾性率、膜厚等を最適化することを特徴とする。より具体的には、例えば、電子線散乱体、電子線透過膜（パターン支持体）、及びそれらの支持体から構成されるマスク構造において、電子線散乱体およびパターン支持体が、低密度材料から構成され、材料力学特性（ヤング率等）が大きく、かつ、所定の膜厚関係を満たすことを特徴とする。これにより、露光電子の透過、散乱を制御すると共に、マスク（マスクブランク）の膜安定化、露光時のスループットの向上等を達成する。

【0046】

上述のマスク構造において高加速電圧電子ビームに対する熱負荷を低減するためには低材料密度からなる電子線散乱体を採用し、パターン支持体を $2\mu\text{m}$ 以下にし、照射電子の全てを透過させることが好ましい。また低密度、高弾性特性材料からなる電子線散乱体を $0.2\mu\text{m}$ 以上により自立可能な膜とすると共に、加工可能な厚さ制限下で極力電子線散乱体を厚くすることにより複雑なパターン部分（特にリーフパターンのパターン支え部）での断面二次モーメントを大きくすることによりパターン支え部の断面積（梁部面積）の小さいパターン

での撓み量を低減するものである。

【0047】

さらに電子線散乱層に部分的に接触する方法で、ヤング率等の材料力学特性が大きな超薄膜からなるパターン支持部（メンブレン）を設けることにより、散乱体パターンにおけるリーフパターン等の局所的な撓みを低減すると共に、マスク高速動作下でのマスクフィールド耐久性を向上するものである。即ち、電子線散乱層を自立膜とすることにより、リーフパターンやリングパターン形成部分のみを局所的にパターン支持層で補強するものである。つまり、本発明のマスクにおける電子線透過層は、パターン領域全体に形成するとしているが、電子線散乱層を下方から局所的かつ補助的に支える目的で設けられており、電子散乱層全体を支持する目的で設けられた従来の電子線透過層とは、目的及び要求特性が異なる。

但し、この場合にも先に述べたパターン支持部での電子散乱に伴う露光電子の低減、言い換えれば、パターン領域での相当量のエネルギー損失の点について懸念されるが、従来例で示される重金属を用いた散乱マスクでは散乱パターン層支持のためのパターン支持層の厚さに関しては、パターン支持層のみで重金属散乱パターン層を支持しなければならないため、パターン支持層の厚さ制限が伴い、この結果として弾性散乱や非弾性散乱を生じ、線源のエネルギー減少を生じると共に、エネルギーバラツキによる色収差が生じる。

本発明のマスクでは電子線散乱体全体の支持要因での厚さ制限はなく、局所的な小面積部分を支持するだけのため、重金属散乱体マスクに比較し、さらなる薄膜化が可能であり現実的な数値として10～50nmの厚さのため、電子散乱に伴う露光電子損失を5～25%に低減することが可能であり、この発明により、露光電子損失が小さいステンシルマスクを用い、リングパターンやリーフパターンを展開するための相補形マスクを用いて所望パターンを形成する従来の方法よりも、高スループット化が可能であると見積もられる。加えて従来のSCALPELマスクに比べビームエネルギーのバラツキによる色収差の影響を低減することが可能となる。

【0048】

また、公表されている散乱マスクやステンシルマスクではマスク支持柱を形成することによりマスクフィールドは小さく分割される。この分割によってマスクの機械的安定性と、放熱性向上による温度安定性を向上することができる。この場合、マスク支持柱はパターン領域エリアの確保のために極力垂直な形状であることが好ましく、この加工方法が幾つか提案されている（例えば特開平 10-261584 号公報）。本発明のマスク構造はこの様な垂直マスク支持柱を有するマスク構造に制限を与えることなく、問題点を対策したことを特徴としている。

【0049】

その他の懸案例として、例えばパターン支持層または重金属からなる散乱パターンあるいはその両方の層における膜応力の問題がある。この課題に対しては材料構成上、SiN等のメンブレン層応力を所定範囲の引張応力にコントロールしつつ、重金属散乱層応力を限りなくゼロにする必要があるが、この様なコントロールは非常にシビアである上、重金属からなる散乱層ではエッチングによるパターン形成前後での応力変化が生じやすい。

本発明のマスク構造では、電子散乱パターン層はリングパターンやリーフパターン以外で自立膜になるため、散乱用パターン形成前後での、膜応力コントロールが重金属散乱体マスクと比較して容易になる。具体的には後述する。

【0050】

この様な材料構成による転写マスク構造を実用化するため最も重要な点は電子線散乱体にパターン形成する、即ちアスペクト比エッチング技術の確立が不可欠であることは言うまでもないが、本発明のマスク構造を可能にしたのは独自の深堀（トレンチ）エッチング技術確立を為し得たことによって成立する。

例えばSi材トレンチエッチングにおいては、高密度タイプエッチング装置の開発、エッチングパラメータの最適化、エッチングチャンバー材の適正化等により達成された。現在までに得られている特性としては、マスク上パターンサイズ $0.2\mu\text{m}$ において、深さ $3.2\mu\text{m}$ までの垂直エッチングを達成しており、本発明の要件（マスク特性）を満足するための基礎技術特性を得ている。

以下、実施例に記載する電子線散乱体材料は種々あるが、これら全ての材料において高いエッチング選択性を有し、高アスペクト比エッチングできることを付

加しておく。

【0051】

【実施例】

本発明のマスクおよびマスクブランクスの構造例を図1～図4に示す。図1はマスクの構造例を示す断面図であり、(b)は(a)の部分拡大図である。図2はマスクブランクスの構造例を示す断面図であり、2つの態様(a)と(b)を示した。図3はマスクの他の構造例を示す断面図であり、(b)は(a)の部分拡大図である。図4はマスクブランクスの他の構造例を示す断面図であり、2つの態様(a)と(b)を示した。これらの図において、5は電子線散乱層（電子線散乱体パターン）、6は電子線透過層（パターン支持層）、3は支持体、7はエッチングストッパー層である。

なお、マスク材料は本発明のマスク特性を満たすものであれば如何なる材料でも構わないが、そのうちの代表的な材料構成例や作製例について記述する。

【0052】

（実施例1）

図8（1）に示すように、シリコン基板11上に、パターン支持層（膜）としてCVD法によりSiC層12を0.03 μ m形成し、このSiC層12上に電子散乱層としてアモルファスシリコン（a-Si）層13をCVD法により0.7 μ m厚で形成した（図8（2））。続いて基板裏面よりドライエッチング法によりSiをエッチングし、パターン領域を支持する支持体（支持柱）14を形成した（図8（3））。

次に、a-Si層13上面よりリソグラフィー法（レジスト塗布、露光、現像など）により所望のパターン形状を有するレジストパターン15を形成した（図8（4））。

次に、a-Si層13を高密度プラズマエッチング法により高アスペクト比エッチング（深掘エッチング）した（図8（5））。この時のa-SiとSiCとのエッチング選択比（SR）は極力大きいことが好ましいが、本実施例ではa-Si/SiCのSRは約100と高い選択比でエッチングが可能であった。

最後に、不要層であるレジストパターン15を除去して、マスクを得た（図8

(6))。

【0053】

上記材料構成からなるマスクでは、 $a-Si$ の膜弾性率は約 1.0×10^{11} (Pa)であり、膜自立が可能な特性であった。また等方弾性率 4.5×10^{11} (Pa)の SiC 層に支持されることにより、リーフパターンやリングパターンの形成も可能であった。

なお、この膜厚構成での 100 KeV 下での露光電子損失は約 18% であり、作製可能な膜厚構成の重金属散乱マスクに比較し、露光電子損失が約 $1/3$ 以下であることが示された。

【0054】

ここで、パターン支持層を形成せずに、電子線散乱層であるアモルファスシリコンのみで片支持状態の貫通孔パターンを形成した場合のパターン撓みについて考察してみる。アモルファスシリコン層を $2\text{ }\mu\text{m}$ 厚に設計し図7に示す縦横 $10\text{ }\mu\text{m}$ サイズのリーフパターンを想定する。この例では自立膜は自立するために必要な引張応力が作用しているものとし、その他の外的な力は作用していないものとする。なお、このパターンはアモルファスシリコン材で形成されているものとし、そのヤング率は文献値より 100 GPa とした。

このパターンでのパターン先端で形成されるリーフパターン先端(☆印部分)での撓み変位を見積ると約 $3.8\text{ }\mu\text{m}$ であった。仮にパターン長が長手方向 10 倍になると、撓み変位は約 $38\text{ }\mu\text{m}$ にもなる。また、このパターンで撓み変位を低減するためにはパターンサイズと形状を変更できず、材料変更できなければ、厚さを増し支持部での断面二次モーメントを高くするしか方法はない。例えば撓み変位を $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下にするためには、厚さを約 $10\text{ }\mu\text{m}$ にする必要がある。このような厚さになるとレチクルとして標準的な 4 倍マスク体として、仮に $0.1\text{ }\mu\text{m}$ スペックの素子パターンの露光を実現するためには、マスクパターンのエッチングにおいてアスペクト比 25 ($10 / (0.1 \times 4)$)のエッチングが必要となり、このようなエッチングの実現可能性や精度の観点よりマスク作製が非常に困難となる。

一方、本発明の方法により同サイズのリーフパターンを形成した場合、上記実

施例の膜厚構成での撓み量を見積もると、電子線散乱体のリーフパターン部のみでは、パターン先端で約 $11\mu\text{m}$ の撓み変位を生じてしまうが、高ヤング率材料の SiC 薄膜層でリーフパターン部分を支持することにより、リーフパターンの最大撓みを $1\mu\text{m}$ 以下に低減可能となり、リーフパターン部での局所撓みの問題を解消できた。

【0055】

なお、本実施例では成膜法として CVD 法を使用した但膜形成法はこれに限らず、例えば各種スパッタ法、真空蒸着法、イオンプレーティング法等の本発明のマスク特性を満足する方法であれば如何なる成膜法でもよい。

またパターン領域を自立させるための裏面よりのウインド加工方法としてはドライエッチング法を用いたが、裏面加工の方法はこの方法に限らず、例えば目的に合わせウエットエッチング法を採用してもよく、また超音波切削法を用いたり、超音波切削法とドライエッチング法あるいはウエットエッチング法を適宜組み合わせてもよい。

さらにベースとなる基板材もシリコンに限らず、本発明のマスク特性を極力満足する材料であれば構わない。

【0056】

本実施例では、マスク構成材料中に絶縁材料が含まれ、描画中にマスクが電荷を帯びること（マスクチャージング）の影響が懸念されるが、この懸念に対しては、特許第 2857384 号にも記載されているように、 100KeV 以上の高加速電子照射下でのマスク中に吸収されるエネルギーは $0.001\text{W}/\text{cm}^2$ 程度と非常に小さい、即ち照射電子のほぼ全てが透過することを意味するため、マスクが電荷を帯びることなく大きな問題とはなりにくい。もし万全を期す意味合いで帯電防止効果を付加したい場合には、同特許に示されるようにアモルファスカーボン等の低原子数の導電体でマスクを被覆（コーティング）するか、あるいは電子散乱層に例えばボロン等をドーピングし導電性を持たせることにより対応可能である。

【0057】

（実施例 2）

実施例 2 で作製するマスクは、電子散乱層とパターン支持層との間にエッチングストッパー層を介在させた構造のマスクである。この構造の目的は、エッチングストッパー層によって、電子散乱層のエッチング時に、パターン支持層がエッチングされるのを阻止することを主目的としており、電子散乱層とパターン支持層とのエッチング選択比が小さい場合に有効である。エッチングストッパー層を介在させる他の目的は、電子散乱層とパターン支持層間での膜応力バランスによるマスクフィールド部に撓みが生じ好ましくない場合に、エッチングストッパー層を加えることにより複合層とし膜応力バランスを調整することである。このようにエッチングストッパー層に、応力調整機能を兼備させることが可能である。

【0058】

マスク作製例を以下に示す。

図 9 (1) に示すように、ベース基板として Si 層 21 (パターン支持層) が $0.05\mu\text{m}$ 、中間 SiO_2 層 22 が $0.05\mu\text{m}$ 、結晶方位 (100) 仕様の SIMOX ウエハ 23 を用いた。ウエハ 23 上に CVD 法により応力コントロールした SiO_2 (エッチングストッパー層) を $0.02\mu\text{m}$ 形成し (図示せず)、同 SiO_2 上に硬質カーボン層 24 (電子散乱層) をスパッタ法により $0.8\mu\text{m}$ 厚で形成した (図 9 (2))。続いて硬質カーボン層 24 上に SiO_2 層 25 (エッチングマスク層) を $0.05\mu\text{m}$ 形成した (図 9 (2))。

その後、リソグラフィ法によりレジストパターン 26 を形成し (図 9 (3))、レジストパターン 26 をマスクとして SiO_2 層 25 をドライエッチング加工した (図 9 (4))。レジストパターン 26 を除去後、 SiO_2 パターンをマスクとして硬質カーボン層 24 に高密度プラズマ法によりトレンチエッチングを施した (図 9 (4))。

裏面側よりウエットエッチング法を用い、ウインド加工を施した後 (図 9 (5))、BHF 液により表面 SiO_2 層 25、中間 SiO_2 層 22 を除去すると共にエッチングストッパー SiO_2 層 (図示せず) を選択的にエッチングすることにより、所望の構造を有するマスクを作製した (図 9 (6))。

【0059】

この場合、Si 層は引張応力、硬質カーボン層は力学特性を優先して形成する

と圧縮応力になる。ここで、CVD法による SiO_2 層を常圧CVD法により形成することにより引張応力とし、3層で応力をコントロールすることにより平坦性の高いパターン領域を形成することが容易にできる。

【0060】

なお、本実施例では、基板にSIMOX、成膜法にCVD法を使用したか、基板や成膜法はこれに限らず、例えば基板に貼り合わせウエハを用いたり、成膜法にスパッタ法その他、真空蒸着法、イオンプレーティング法等の本発明のマスク特性を実現可能な方法であれば如何なる成膜法でもよい。

また裏面よりのウインド加工方法としてはウェットエッチング法を用いたが、裏面加工法はこの方法に限らず、例えば目的に合わせ他のエッチング法を採用してもよく、また超音波切削法を用いたり、超音波切削法とドライエッチングあるいはウェットエッチング法を組み合わせてもよい。

更にベースとなる基板材や各層の材料も本実施例に記載した材料に限らず、本発明のマスク特性を極力満足する材料であれば構わない。

【0061】

(実施例3)

実施例3では、本発明のマスク特性を満足しつつ、マスク材として最適な材料構成およびマスク作製法に関して述べる。

マスク構造的に高強度および高い電子透過性を満足するためには、より低密度な理論密度を有する材料で、ヤング率等の材料力学特性が大きく、電子線散乱体を極力厚くでき、パターン支持層の厚さを極力薄くできる材料構成で、加えて耐薬品性、照射耐性に優れ、さらにパターン精度の観点よりエッチング可能性に優れた材料であることが望ましい。さらに加えれば、帯電を考慮し、絶縁材料でないことが好ましい。

この様な特性を満足し、本発明のマスク特性をも満足する材料に関して以下記述する。

電子線散乱体、あるいは、パターン支持体は、主として炭素から構成され、材料強度に優れる、ダイヤモンドやダイヤモンドライクカーボン(DLC)あるいは硬質カーボンで構成されることが好ましい。これらの膜は、窒素、ホウ素など

を含むことができる。しかし、これらの膜は一般的なCVD法やスパッタ法で形成する場合、熱膨張係数や格子不整合性等より圧縮応力を有する膜が形成される。

【0062】

そこで開発したマスク構造およびその作製例を説明する。

図10(1)に示すように、基板31にはガラス状カーボンを採用した。この基板31の表裏にCVD法により β -SiC膜32を30nm厚で形成し、この β -SiC膜32上に窒素含有DLC膜33を1.2 μ m、SiO₂膜34を10nm形成した(図10(2))。ここで、真空、不活性、還元いずれかの雰囲気下で熱処理を施し窒素含有DLC膜33の応力を選択的に引張りにコントロールした。

続いてレジストパターン35を形成後(図10(3))、上層側材料より選択的にドライエッチングを施し、パターン形成を行った(図10(4))。

次に、裏面側の β -SiC膜32をパターンニングし、裏面側よりガラス状カーボン基板31にドライエッチング法によりウインド加工を施した(図10(5))。

最後に不必要層を除去してマスクを作製した(図10(6))。

【0063】

本記実施例において、裏面側の β -SiC膜32は裏面加工のためのエッチングマスク層を意味し、30nm厚の裏面側の β -SiC膜32はパターン支持層、また、窒素含有DLC膜33は電子線散乱層であり、このDLC膜上のSiO₂層34は電子線散乱層のエッチングのためのエッチングマスク層である。

【0064】

本マスク構造でDLC層に窒素を導入したのはDLC膜抵抗を低減するためであり、DLC膜中に窒素を含むことにより膜抵抗を1 $\Omega \cdot \text{cm}$ にすることが可能であり、マスクチャージングの影響を回避することを可能とした。

また、ベース材、電子線散乱体に主として炭素元素から構成される材料とすることにより、SiC材やSiO₂材料等に対して100以上の極端に大きなエッチング選択性を有するエッチングが容易に可能となり、材料選択性が広がると共

にマスク層やストッパー層を極端に薄くできるため、加工性の余裕度と共に限りなく理想的なマスク構造である。

【0065】

なお、本実施例では、成膜法にCVD法を使用したか、膜形成法はこれに限らず、スパッタ法その他、真空蒸着法、イオンプレーティング法等の本発明のマスク特性を満足する方法であれば如何なる成膜法でもよい。また、マスク材に関しても実施例で示すSiO₂材やSiCに限らず、使用目的および本発明のマスク特性を満足する材料であれば、如何なる材料でも構わない。

またパターン領域（マスクフィールド）を自立させるための裏面よりのウインド加工方法としてはドライエッチング法を用いたが、この方法に限らず、例えば超音波切削法を用いたり、超音波切削法とドライエッチング法等を適宜組み合わせてもよい。また、ウェットエッチング法を用いたり、ウェットエッチング法とドライエッチング法を組み合わせてもよい。

【0066】

（実施例4）

本実施例は成膜工程の削減を図ったものである。材料と作製例に関して述べる。図11（1）に示すように、基板41にSiウエハを用い、基板表面よりSIMOX基板作製法と類似のイオン注入法により炭素を注入すると共に減圧中での熱処理により、Siウエハ中の所望深さにSiC層42を50nm厚形成した。本方法により成膜法を用いることなくマスクブランクスを作製した。

次に表面Si層43上にレジストパターン44を形成し（図11（2））、レジストパターン44をマスクとして0.35μm厚の表面Si層43をドライエッチング加工した（図11（3））。続いて裏面よりウェットエッチング法によりウインド加工を施し（図11（4））、不要層を除去して目的とする構造を有するマスクを作製した（図11（5））。

【0067】

（実施例5）

本実施例は電子線散乱体を含めたパターン領域（薄膜部分）の膜応力コントロールを考慮したものである。材料と製法に関して述べる。

例えば実施例 3 において、各層形成を応力調整の施こされた成膜を行なった場合において、トレンチ（深掘）パターン形成前状態で膜応力バランスが調整され膜の反りがコントロールされたとしても、パターン領域内でパターン密度が異なるトレンチパターン形成を行った場合、パターン密度の相違により散乱層応力が変化され、トレンチパターン形成前後でのパターン領域部分で反り変化を生じやすい。

この対策として、初期の膜形成時にパターン密度を考慮した膜応力特性を有する膜を形成することも可能であろうが、この場合、膜質との兼ね合いでコントロール性が難しいことが考えられる。この対策として、例えばパターン領域（薄膜部分）が凸方向に反りを生じている場合、パターン領域裏面より形成により圧縮方向に応力を生じる材料、例えば、DLC 薄膜を電子エネルギー損失に極力影響しない膜厚範囲で被覆することにより、容易にパターン領域の反りを調整することが可能である。

逆に凹方向に反りを生じている場合には、裏面側より調整する場合には引張応力膜を形成すればよく、表面側より調整する場合にはその逆である。

本方法によれば、パターン形成前後での薄膜層の反り変化に関し容易に対策することが可能である。また、パターン形成前後のみでなくマスク形成後に他の理由で生じた反りを対策できることを意味するものである。

【0068】

（実施例 6）

本実施例は裏面加工性の考慮と、パターン支持層の厚さに所定範囲で許容性を兼ね備えた作製法であり、歩留り向上と共に製作期間の短縮化を考慮したものである。材料と製法例に関して述べる。

図 12（1）に示すように、基板として、Si 層 52（電子散乱層）が $0.6 \mu\text{m}$ 、中間 SiO_2 層 51 が $0.05 \mu\text{m}$ 厚仕様の Si-SIMOX ウエハ 53 を用いた。

SIMOX ウエハ上に弱い引張応力の SiO_2 層 54 を $0.1 \mu\text{m}$ 形成した後（図 12（2））、裏面側よりウインド加工を施した（図 12（3））。

次に、中間 SiO_2 層 51 を選択的に除去した後（図 12（4））、裏面側よ

りCVD法により一面にSiC層55を50nm厚形成した(図12(5))。

次にこのマスクブランクスを用い転写パターン形成を行った。

まず、レジストパターン(図示せず)を形成後、このレジストパターンをマスクとしてSiO₂層54にエッチング法によりパターン転写した(図12(6))。続いてSiO₂層54をマスクに電子散乱層であるSi単結晶層52にトレンチエッチング加工を施した(図12(6))。

更に不要となったドライエッチングマスク層であるSiO₂層54の除去を行い目的とするマスクを作製した(図12(7))。

本実施例において、成膜順番等に制約は無く、工程順を任意に変更しても構わない。また、パターン支持層の厚さは本発明のマスク特性を満足する範囲で、転写パターン密度等を考慮し容易に設定することができるため自由度が高くなる。

【0069】

上記実施例で使用した材料の密度、100keV下での電子平均自由行程、弾性率の値を表1に示す。

【0070】

【表1】

	密度 (g/cm ³)	100keV下での 電子平均自由行程	実施例での弾性率
アモルファスSi	2.1	0.22μm	1.0×10 ¹¹ Pa
SiC	3.1	0.15μm	4.5×10 ¹¹ Pa
Si	2.3	0.20μm	1.6×10 ¹¹ Pa
DLC(硬質カーボン)	1.9-3.5	0.24-0.13μm	0.8-11.0×10 ¹¹ P
SiO ₂	2.2	0.21μm	0.8×10 ¹¹ Pa

【0071】

以上実施例を挙げて説明したが、本発明は上記実施例の範囲に限られるものではない。

例えば、実施例1～6においても行程順は最終目的となるマスク構造を満足するものであれば特に順番は問わない。また、エッチングマスクにレジスト等の有

機材料や SiO_2 のような無機材料および金属材料など如何なる材料を用いてもよい。

【0072】

また、電子線散乱体材料やパターン支持体材料は本発明のマスク特性を満足する材料であればよく、例えば記載例の他、窒化硼素 (BN_x)、窒化炭素 (CN_x)、窒化チタン (TiN_x)、燐化インジウム (InP) や窒化ガリウム (GaN_x) 等の化合物半導体材料、チタンシリサイド (TiSi_x) 等のシリサイド化合物、炭化チタン (TiC) 等の炭化物など、耐薬品性、エッチング加工性、成膜性等の要求特性を満足すれば如何なる材料でも構わない。

【0073】

さらに、マスクブランク (マスク作製用基板) に関して言えば、上記実施例に示される途中状態、例えば、実施例 1 の各成膜を行った基板や成膜後にウインド加工を行ったもの等は全てマスクブランクのうちに含まれる。

また、パターン形成前の基板状態で、エッチングのためのエッチングマスク層や、エッチングストッパー層を形成した基板もマスクブランクのうちに含まれる。

これらのマスクブランクにおいては、表裏面からエッチング加工を行うことから、マスク作製途中で表裏面にアライメントマークを形成しておく必要がある。アライメントマークの形成法は例えばエッチング法による段差パターンや成膜法によるマーク形成などが考えられる。またマーク形状は表裏のアライメントができる材料であれば特に問わない。

【0074】

以上説明したように、本発明のマスクは、マスク構造特性、製法特性を満足した上で、以下に示すリソグラフィーにおける要求特性を満足する。

被露光基板上でのビームコントラストに関して本発明のマスク構造では、例えば実施例に示す種々のマスク構造、マスク構成材料において、いずれも 85% 以上のビームコントラストが得られている。

また、従来のマスク公表例 (例えば SCALPEL マスク) で困難であったパターン支持層のさらなる薄膜化を達成したことにより描画時のエネルギー損失を

従来提案されていメンブレンマスクに比較し $1/2 \sim 1/4$ に低減することを可能にした。このことにより色収差の影響を低減化し、電子クーロン効果に制約される電流値制限を少なくしたことにより、ステンシルタイプの相補形マスクを用いて露光した場合と実質的な露光時間を比較した場合、本発明マスクを用いた露光形態が約 $1.3 \sim 1.6$ 倍程度の高速露光が可能である。

【0075】

【発明の効果】

本発明のマスクによれば、電子の透過と散乱が制御され、ビームコントラストが良好で、電子の散乱を制御でき、露光電子の損失が少なく、色収差の影響を低減でき、露光時間を短縮化できる。

本発明のマスクは、構造特性に関しては、膜自立が可能で、撓みがなく平坦で、リーフパターやリングパターンが形成でき、膜応力の調整ができ、マスクとしたときの強度や安定性に優れる。

本発明のマスクブランクスは、トレンチ（深堀）エッチング（高アスペクト比エッチング）が可能で、エッチング選択比も十分大きな値がとれ、加工精度も高く、優れた製法特性を有する。

また、本発明によれば、優れたマスク構造およびマスク作製方法の確立が図られ、リソグラフィ特性を向上させ超高集積回路の製造が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施例に係るマスクの構造を示す断面図であり、(b)は(a)の部分拡大図である。

【図2】

本発明の一実施例に係るマスクブランクスの構造を示す断面図である。

【図3】

本発明の他の実施例に係るマスクの構造を示す断面図であり、(b)は(a)の部分拡大図である。

【図4】

本発明の他の実施例に係るマスクブランクスの構造を示す断面図である。

【図 5】

ステンシルマスクにける貫通孔パターンを説明するための平面図である。

【図 6】

ステンシルマスクにける片持ち形状のパターンを説明するための平面図である。

【図 7】

片持ち形状のパターンを示す斜視図である。

【図 8】

本発明の一実施例に係るマスクの製造過程を示す断面図である。

【図 9】

本発明の一実施例に係るマスクの製造過程を示す断面図である。

【図 10】

本発明の一実施例に係るマスクの製造過程を示す断面図である。

【図 11】

本発明の一実施例に係るマスクの製造過程を示す断面図である。

【図 12】

本発明の一実施例に係るマスクの製造過程を示す断面図である。

【図 13】

ステンシルマスクの構造を示す断面図である。

【図 14】

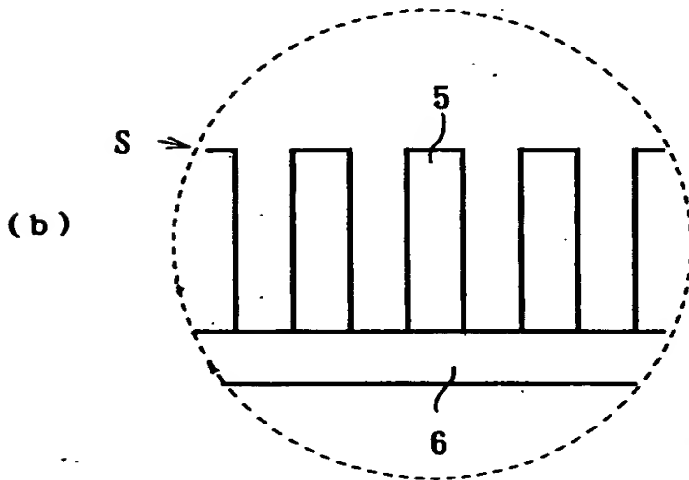
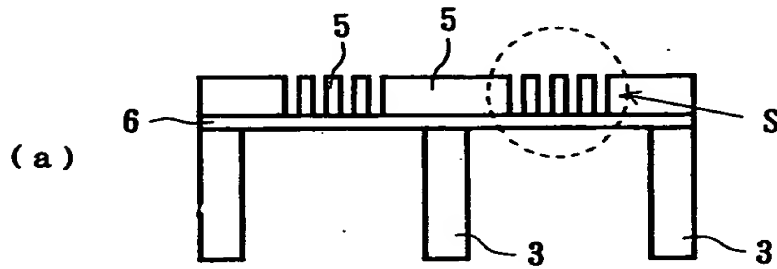
SCALPELマスク（電子線散乱マスク）の構造を示す断面図である。

【符号の説明】

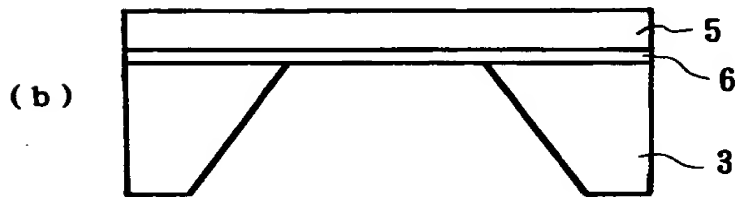
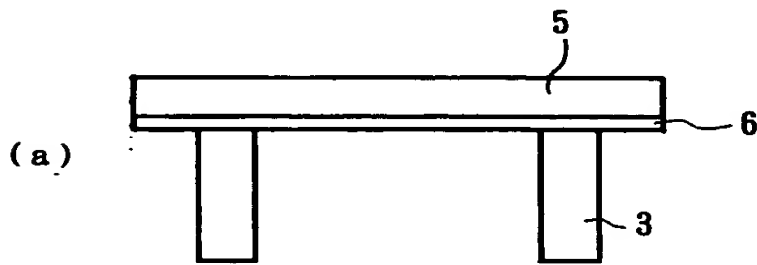
- 1 貫通孔
- 2 アパーチャ体
- 3 支持体
- 4 パターン支え部
- 5 電子線散乱体
- 6 電子線透過層（パターン支持部）
- 7 エッチングストッパー層

【書類名】 図面

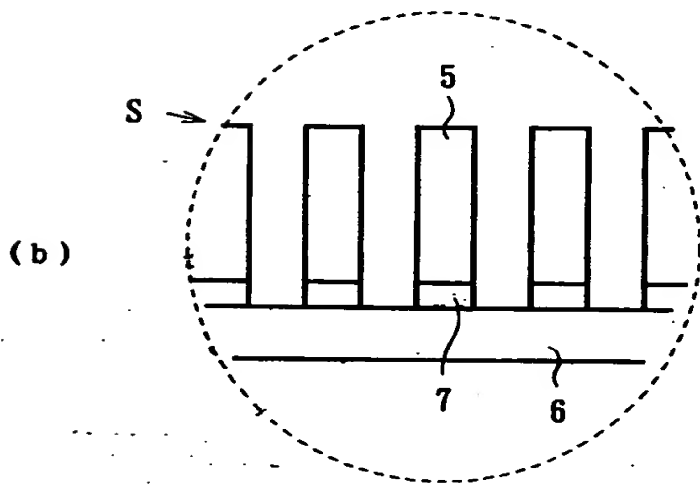
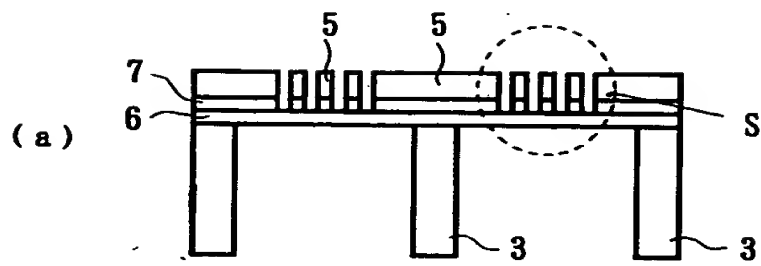
【図 1】



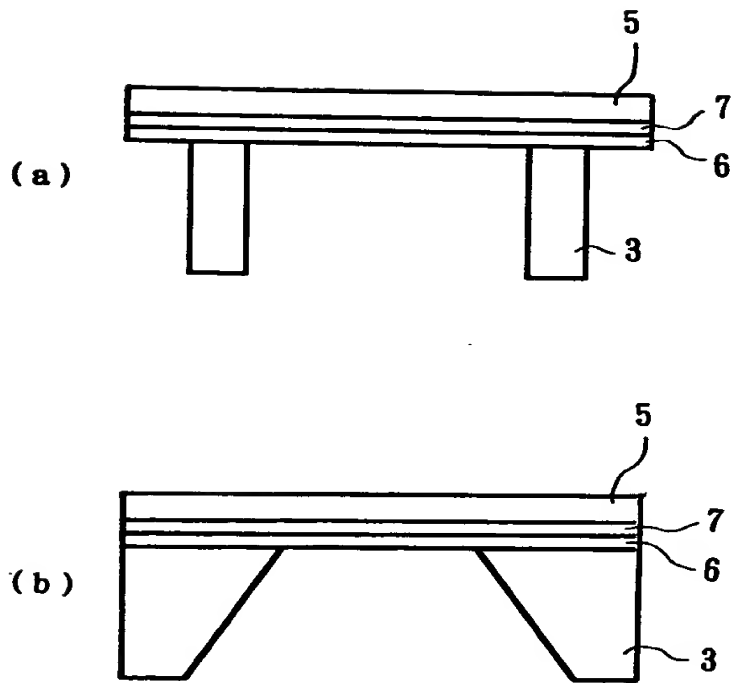
【図2】



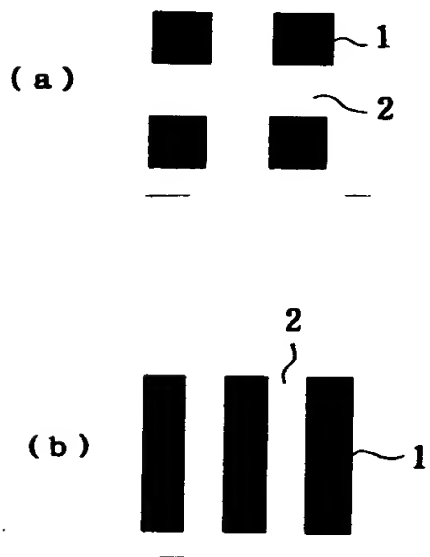
【図 3】



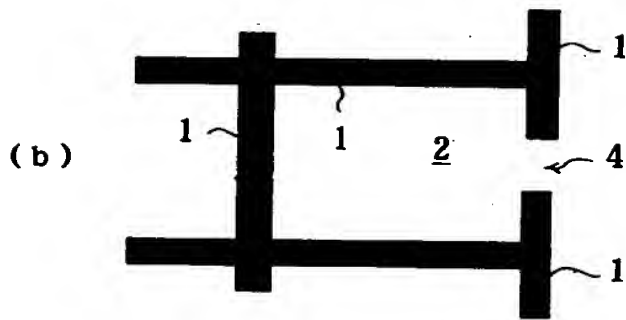
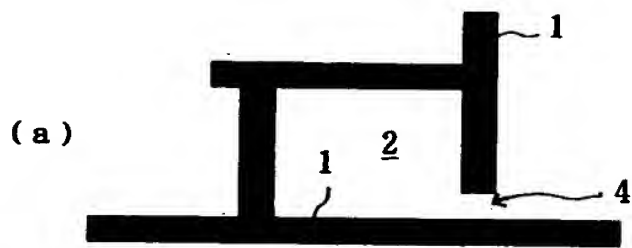
【図4】



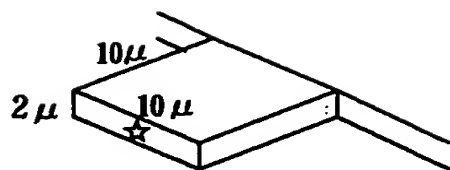
【図5】



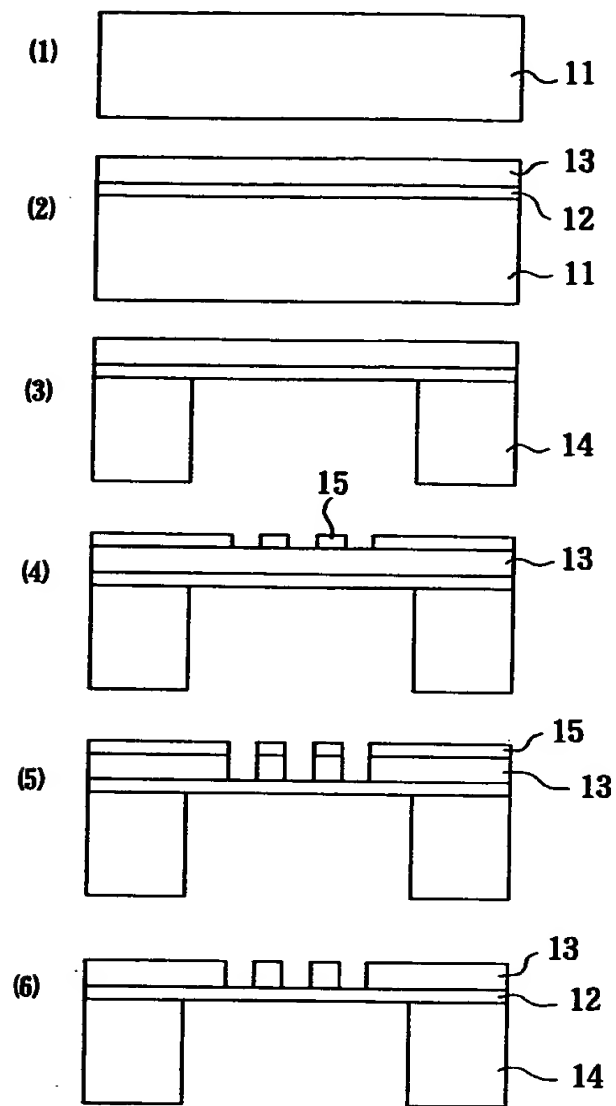
【図 6】



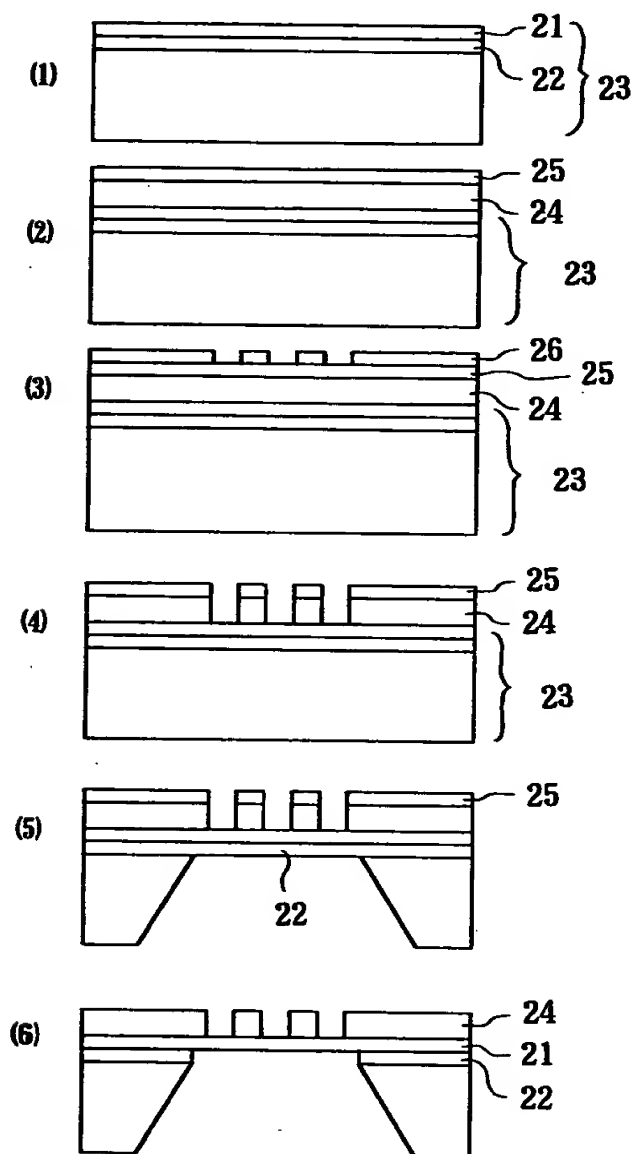
【図 7】



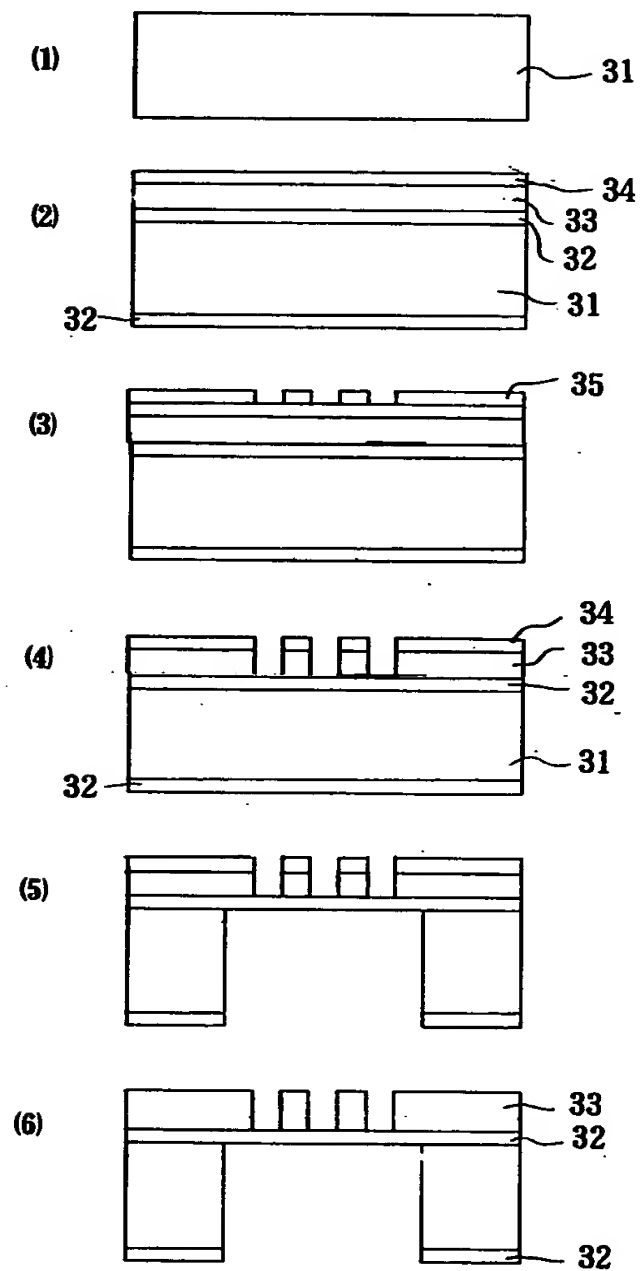
【図 8】



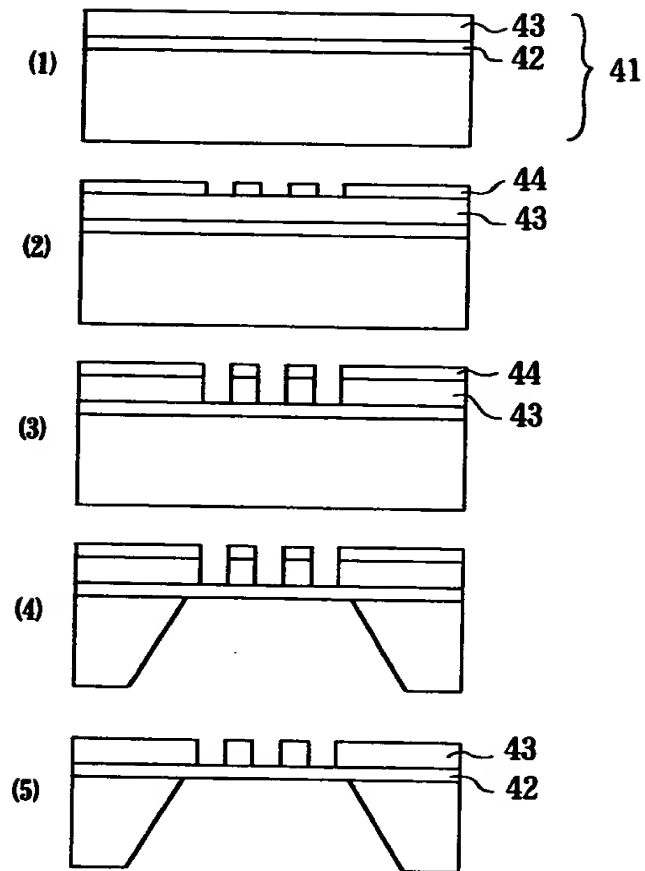
【図 9】



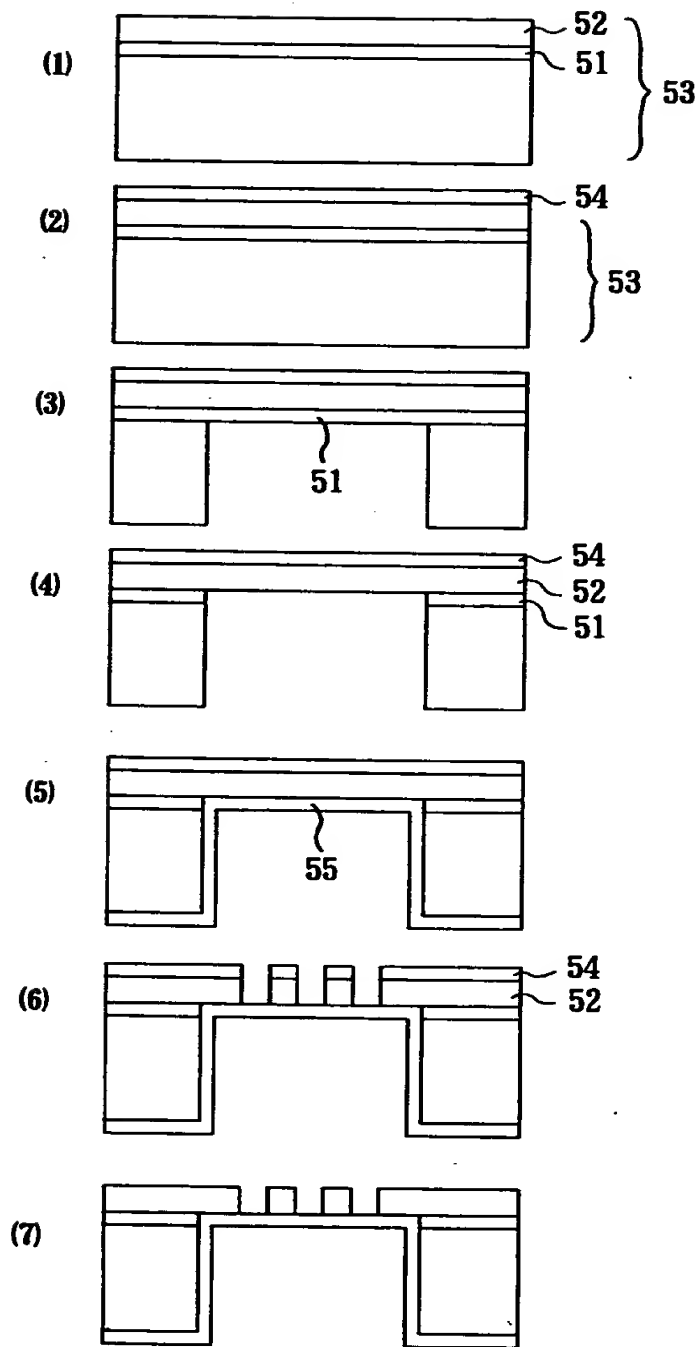
【図 10】



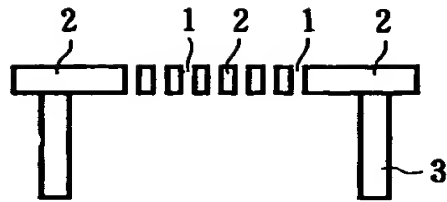
【図 11】



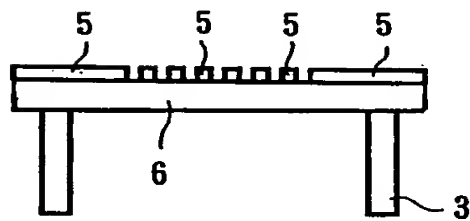
【図 12】



【図 13】



【図 14】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電子の透過と散乱が制御され、ビームコントラストが良好で、露光電子の損失が少なく、色収差の影響を低減でき、露光時間を短縮化できる電子線描画用マスク等を提供する

【解決手段】 電子線を透過する電子線透過膜 6 と、前記電子線透過膜上に形成された電子線散乱体パターン 5 と、前記電子線透過膜 6 および前記電子線散乱体パターン 5 を支持する支持体 3 とを有する電子線描画用マスクにおいて、

前記電子線透過膜 6 について、膜厚が $0.005\ \mu\text{m}$ 以上 $0.2\ \mu\text{m}$ 未満であり、膜材料密度が $1.0\sim 5.0\ \text{g}/\text{cm}^3$ であり、弾性率が $0.8\times 10^{11}\ \text{Pa}$ 以上であって、かつ、

前記電子線散乱体パターン 5 について、膜厚が $0.2\sim 2\ \mu\text{m}$ であり、膜材料密度が $1.0\sim 5.0\ \text{g}/\text{cm}^3$ であり、弾性率が $0.8\times 10^{11}\ \text{Pa}$ 以上であることを特徴とする電子線描画用マスク。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	平成11年 特許願 第186954号
受付番号	59900630541
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成11年 7月 2日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成11年 6月30日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000113263]

1. 変更年月日 1990年 8月16日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都新宿区中落合2丁目7番5号
氏 名 ホーヤ株式会社